

(12) NACH DEM VERTRAG ÜBER DIE INTERNATIONALE ZUSAMMENARBEIT AUF DEM GEBIET DES
PATENTWESENS (PCT) VERÖFFENTLICHTE INTERNATIONALE ANMELDUNG

(19) Weltorganisation für geistiges Eigentum
Internationales Büro



(43) Internationales Veröffentlichungsdatum
17. Juni 2004 (17.06.2004)

PCT

(10) Internationale Veröffentlichungsnummer
WO 2004/051698 A2

(51) Internationale Patentklassifikation⁷: **H01J 61/09**, H05G 2/00

(21) Internationales Aktenzeichen: PCT/IB2003/005496

(22) Internationales Anmeldedatum: 28. November 2003 (28.11.2003)

(25) Einreichungssprache: Deutsch

(26) Veröffentlichungssprache: Deutsch

(30) Angaben zur Priorität: 102 56 663.1 4. Dezember 2002 (04.12.2002) DE

(71) Anmelder (nur für DE): **PHILIPS INTELLECTUAL PROPERTY & STANDARDS GMBH** [DE/DE]; Stein-damm 94, 20099 Hamburg (DE).

(71) Anmelder (für alle Bestimmungsstaaten mit Ausnahme von DE, US): **KONINKLIJKE PHILIPS ELECTRONICS N.V.** [NL/NL]; Groenewoudseweg 1, NL-5621 BA Eind-hoven (NL).

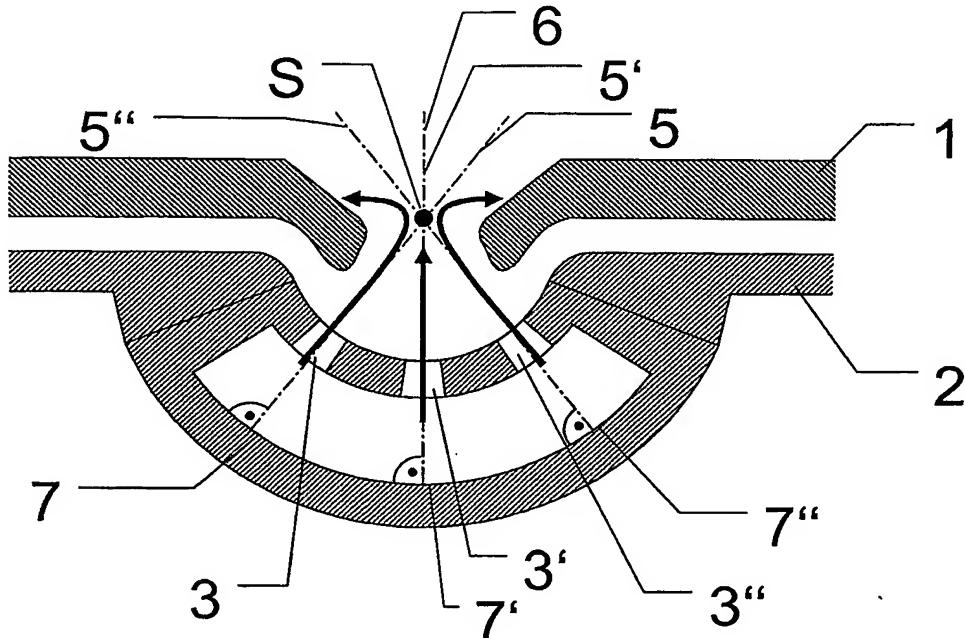
(72) Erfinder; und

(75) Erfinder/Anmelder (nur für US): **DERRA, Guenther, Hans** [DE/DE]; c/o Philips Intellectual Property & Stan-dards GmbH, Weisshausstr. 2, 52066 Aachen (DE). **PANKERT, Joseph, Robert, Rene** [BE/DE]; c/o Philips Intellectual Property & Standards GmbH, Weisshausstr. 2, 52066 Aachen (DE). **NEFF, Willi** [DE/DE]; c/o Philips Intellectual Property & Standards GmbH, Weisshausstr. 2, 52066 Aachen (DE). **BERGMANN, Klaus** [DE/DE]; c/o Philips Intellectual Property & Standards GmbH, Weisshausstr. 2, 52066 Aachen (DE). **JONKERS, Jeroen** [NL/DE]; c/o Philips Intellectual Property & Standards GmbH, Weisshausstr. 2, 52066 Aachen (DE).

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]

(54) Title: GAS DISCHARGE LAMP FOR EUV RADIATION

(54) Bezeichnung: GASENTLADUNGSLAMPE FÜR EUV-STRÄHLUNG



WO 2004/051698 A2

(57) Abstract: The invention relates to a gas discharge lamp for EUV radiation, comprising an anode (1) and a hollow cathode (2). Said hollow cathode (2) is provided with at least two openings (3, 3') while the anode (1) is provided with a passage (4). The inventive gas discharge lamp is characterized by the fact that the longitudinal axes (5, 5') of the hollow cathode openings (3) have a common point of intersection S which is located on the axis of symmetry (6) of the anode passage (4).

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]



(74) **Anwalt:** VOLMER, Georg; Philips Intellectual Property & Standards GmbH, Weisshausstr. 2, 52066 Aachen (DE).

(81) **Bestimmungsstaaten (national):** AE, AG, AL, AM, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CN, CO, CR, CU, CZ, DK, DM, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE, KG, KP, KR, KZ, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LV, MA, MD, MG, MK, MN, MW, MX, MZ, NI, NO, NZ, OM, PG, PH, PL, PT, RO, RU, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SY, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, YU, ZA, ZM, ZW.

(84) **Bestimmungsstaaten (regional):** ARIPO-Patent (BW, GH, GM, KE, LS, MW, MZ, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM,

ZW), eurasisches Patent (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM), europäisches Patent (AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HU, IE, IT, LU, MC, NL, PT, RO, SE, SI, SK, TR), OAPI-Patent (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

Veröffentlicht:

— ohne internationalen Recherchenbericht und erneut zu veröffentlichen nach Erhalt des Berichts

Zur Erklärung der Zweibuchstaben-Codes und der anderen Abkürzungen wird auf die Erklärungen ("Guidance Notes on Codes and Abbreviations") am Anfang jeder regulären Ausgabe der PCT-Gazette verwiesen.

(57) **Zusammenfassung:** Die Erfindung betrifft eine Gasentladungslampe für EUV-Strahlung, mit einer Anode (1) und einer Hohlkathode (2), bei der die Hohlkathode (2) mindestens zwei Öffnungen (3,3') und die Anode (1) eine durchgehende Öffnung (4) aufweist, und die dadurch gekennzeichnet ist, dass die Längsachsen (5,5') der Hohlkathodenöffnungen (3) einen gemeinsamen Schnittpunkt S haben der auf der Symmetrieachse (6) der Anodenöffnung (4) liegt.

Gasentladungslampe für EUV-Strahlung

5

Die Erfindung betrifft eine Gasentladungslampe für Extrem-Ultraviolett-Strahlung nach dem Oberbegriff des Anspruchs 1. Bevorzugte Anwendungsgebiete sind solche, die Extrem- Ultraviolett- (EUV-) Strahlung, bevorzugt im Wellenlängenbereich von ca. 10 bis 20 nm, benötigen, wie zum Beispiel die Halbleiter-Lithographie.

10 Es ist allgemein bekannt, ein dichtes heißes Plasma als strahlungsemittierendes Medium zur Bereitstellung von EUV- Strahlung einzusetzen.

Die WO 01/91532 A2 lehrt hierzu den Einsatz einer EUV-Strahlungsquelle mit einer Vielzahl von kreissegmentförmig angeordneten Teilektroden, zwischen denen Ionenstrahlen beschleunigt werden. Die Ionenstrahlen münden in einen Plasma-Entladungsraum und bilden dort ein dichtes heißes Plasma welches Strahlung im EUV-Wellenlängenbereich emittiert. Um die Divergenz der Ionenstrahlen zu mindern, und darüber ein besonders kleines Plasmavolumen zu schaffen, sind zudem Mittel zur elektrischen Neutralisierung der Ionen vorgesehen.

20 Eine Vorrichtung zur Erzeugung von EUV- und weicher Röntgenstrahlung offenbart die WO 01/01736 A1, bei der zwei Haupteletroden vorgesehen sind, zwischen denen sich ein gasgefüllter Zwischenraum befindet. Die Haupteletroden weisen dabei eine oder mehrere Öffnungen auf. Die Konfiguration der Haupteletroden bewirkt, dass das Plasma nur innerhalb des durch den Durchmesser der beiden zentralen Öffnungen bestimmten Zylinders zündet und nachfolgend infolge des Pincheffekts auf einen noch kleineren Zylinder komprimiert wird. Es wird insofern nur ein einziger Plasmakanal ausgebildet.

Der Erfindung liegt das technische Problem zugrunde, eine Gasentladungslampe mit einem im EUV-Wellenlängenbereich emittierenden Pinchplasma bereitzustellen, bei der ein räumlich stark lokalisiertes

Plasma erzeugt wird und gleichzeitig die Erosion des Kathodenmaterials möglichst gering ist.

Die Lösung dieses technischen Problems erfolgt durch die Merkmale des unabhängigen Anspruchs 1. Vorteilhafte Weiterbildungen werden durch die abhängigen 5 Ansprüche angegeben.

Erfundungsgemäß wurde erkannt, dass das oben genannte technische Problem gelöst wird durch eine Gasentladungslampe für Extrem-Ultraviolett-Strahlung mit einer Anode und einer Hohlkathode, bei der die Hohlkathode mindestens zwei Öffnungen und die Anode eine durchgehende Öffnung aufweist, und bei der die 10 Längsachsen der Hohlkathodenöffnungen einen gemeinsamen Schnittpunkt S haben, der auf der Symmetrieachse der Anodenöffnung liegt.

Der Erfundung liegt die Erkenntnis zugrunde, dass die Kathodenerosion dadurch gemindert werden kann, dass der gesamte, von der Kathode ausgehende Elektronenstrom über mehrere Kathodenöffnungen verteilt wird. Die Kathode einer 15 Gasentladungsquelle muss nämlich während eines Strompulses einen sehr hohen Elektronenstrom von mehreren Kiloampere liefern. Dies führt zur Ausbildung von sogenannten Kathodenflecken in der Innenfläche der Kathodenöffnung sowie im unmittelbar angrenzenden, der Anode zugewandten Oberflächenbereich der Kathode. Aus diesen Kathodenflecken treten die Elektronen bevorzugt aus. An diesen Orten kann 20 jedoch eine weit über die rein thermische Abdampfung hinausgehende Erosion des Kathodenmaterials stattfinden. Durch die Wahl mehrerer Hohlkathodenöffnungen wird die an einem Kathodenfleck auftretende Stromdichte gemindert. Dies führt insgesamt zu einer geringeren Erosion der Kathode, insbesondere im Öffnungsbereich, und zu einer verbesserten Standzeit der Gasentladungslampe.

25 Fig. 1 zeigt eine erfundungsgemäße Gasentladungslampe mit einer Anode 1 und einer Hohlkathode 2, wobei letztere drei Kathodenöffnungen 3,3',3'' zu einem Hohlraum 8 aufweist.

Anode 1, Kathode 2 und Hohlraum 8 befinden sich in einer Gasatmosphäre bei Drücken von typischerweise 1 - 100 Pa. An das Elektrodensystem 30 wird eine Spannung angelegt. Gasdruck und Elektrodenabstand werden so gewählt, dass die Zündung des Plasmas auf dem linken Ast der Paschenkurve erfolgt, d.h. die Ionisationsprozesse starten entlang der langen elektrischen Feldlinien, welche bevorzugt

im Bereich der Öffnungen von Anode und Kathode auftreten. Im Verlaufe der Entladung ist der Hohlkathodenraum 8 nicht potentialfrei, vielmehr ragt das Potential bzw. ragen die elektrischen Feldlinien auch in den Hohlkathodenraum 8 hinein. Dort entsteht ein Hohlkathodenplasma mit hoher Effizienz der Plasmabildung aufgrund 5 pendelnder Elektronen.

Als Folge dieses Hohlkathodenplasmas und insbesondere auch durch den im Hohlkathodenplasma erzeugten Elektronenstrahl, der sich durch die Öffnungen 3,3°,3° in Richtung der Anode bzw. in Pfeilrichtung ausbreitet, vgl. auch Fig. 2a, entsteht ein hoch leitfähiges Plasma im Bereich zwischen Anode und Kathode. Die 10 elektrische Leitfähigkeit ist insbesondere im Bereich des Schnittpunktes S besonders hoch.

Durch einen gepulsten Strom im einstelligen bis zweistelligen Kiloamperebereich wird dieses Plasma komprimiert und auf Temperaturen aufgeheizt, dass es Strahlung im Extrem-Ultraviolettbereich erzeugt. Die Strompulse werden 15 hinsichtlich Amplitude und Periodendauer derart gewählt, dass das Plasma Quelle für EUV-Strahlung ist. Dieses Plasma entsteht bevorzugt im Bereich des Schnittpunktes S.

Fig. 1 zeigt hierbei eine Anordnung mit planaren Elektroden 1,2 die sich technisch besonders einfach realisieren lässt. Auch möglich ist eine kreissegmentförmige Anordnung wie zum Beispiel in Fig. 3 mit einer kreissegmentförmigen 20 Hohlkathode 2. Diese Anordnung hat den Vorteil, dass die Elektrodenwände weiter vom Plasma entfernt sind, die Kühlung der Elektroden einfacher fällt, und sich auch größere Winkel zur Symmetrieachse 6 realisieren lassen. Bei dieser Bauform kann die der jeweiligen Kathodenöffnung 3,3°,3° gegenüberliegende Wand 7 jeweils senkrecht 25 zur Längsachse 5,5°,5° dieser Öffnung stehen, und so durch Ionisation im Elektroden- zwischenraum dazu beitragen, dass bevorzugt im Bereich des gemeinsamen Schnittpunktes S eine hohe elektrische Leitfähigkeit vorliegt.

Die verwendeten Strompulse weisen vorteilhafterweise Amplituden mit zweistelliger Kiloamperezahl und Periodendauern im zwei- bis dreistelligem Nanosekundenbereich auf. Insbesondere bei diesen Parametern für die Strompulse wird 30 das Plasma hinreichend komprimiert und dadurch aufgeheizt, dass es die erforderliche Temperatur für die Strahlungsemision erreicht.

Als Arbeitsgas der Entladungsquelle wird hauptsächlich Xenon verwendet, in reiner Form oder im Gemisch mit anderen Gasen. Es können aber auch Gase mit anderen Strahlern wie z.B. Lithium oder Zinn, in elementarer Form oder als chemische Verbindung, eingesetzt werden, um eine möglichst hohe Strahlungseffizienz zu gewährleisten. Der Arbeitsdruck liegt etwa im Bereich von 1-100 Pascal. Der Arbeitspunkt wird dabei so gewählt, dass das Produkt aus Elektrodenabstand und Entladungsdruck auf dem linken Ast der Paschenkurve liegt. Die Zündspannung steigt in diesem Fall mit sinkendem Gasdruck bei fester Elektrodengeometrie.

Am Anfang der Entladung, d.h. bei beginnendem Stromfluss, wird gemäß Fig. 2a in der Hohlkathode 2 ein Plasma 13 erzeugt. Im Verlauf der Entladung tritt dieses Plasma 13 durch die Kathodenöffnungen hindurch und bildet leitfähige Kanäle 11 zwischen Kathode und Anode, vgl. hierzu Fig. 2b. Aus dem Vorstehenden ergibt sich, dass der aus den Hohlkathodenöffnungen austretende Strahl 11 aus Ionen und Elektronen eine gewisse räumliche Ausdehnung hat. Als gemeinsamer Schnittpunkt S soll dabei auch derjenige Raumbereich 12 verstanden werden, innerhalb dessen sich diese räumlich ausgedehnten Strahlen kreuzen bzw. überlappen.

Längs der Kanäle 11 kommt es zu einem schnellen Anstieg des Stroms, wodurch das Plasma gemäß Fig. 2c magnetisch auf ein kleines Volumen 14 auf der Symmetrieachse 6 der Anordnung komprimiert wird. Es kann hierbei ein zigarrenförmiges Plasma auf und in Richtung der Haupt-Symmetrieachse 6 realisiert werden. Die Länge dieses Plasmagebietes in Achsrichtung beträgt ca. 2 bis 5 mm, und senkrecht hierzu ca. 0.5 bis 2 mm. Der Schwerpunkt dieses Plasmagebietes liegt ca. im Schnittpunkt S. Aufgrund des starken Temperaturanstiegs werden die darin befindlichen Gasatome mehrfach ionisiert und emittieren die gewünschte EUV-Strahlung.

Die Ausrichtung der Hohlkathodenöffnungen auf einen gemeinsamen Schnittpunkt S bewirkt, dass sich die in der Anfangsphase der Entladung erzeugten Elektronen- bzw. Plasmastrahlen in einem Punkt, nämlich dem Schnittpunkt S, treffen, und somit auf einen Raumpunkt gerichtete Stromkanäle vorgeben. In der späteren Phase hohen Stromflusses bildet sich auf diese Weise infolge des Pincheffektes ein sehr lokalisierter Plasma aus.

Erfnungsgemäß sind mindestens zwei Kathodenöffnungen vorgesehen, vorteilhaft ist die Verwendung einer noch größeren Anzahl von Kathodenöffnungen.

Die Verwendung einer größeren Anzahl von Kathodenöffnungen vergrößert die Elektrodenfläche noch mehr und verringert die Belastung, die jede einzelne Kathodenöffnung erfährt. Wunschgemäß mindert dies die Erosion der Kathode.

Es ist günstig, wenn die Längsachse 5 der jeweiligen

- 5 Hohlkathodenöffnung 3 weitgehend senkrecht auf dem der Hohlkathodenöffnung 3 gegenüberliegenden Teil der Hohlkathodenwand 7, d.h. der Rückwand des Hohlkathodenraums, steht, siehe Fig. 3. Die Orientierung der Hohlkathodenwand 7 in Relation zur Längsachse der Hohlkathodenöffnung hat nämlich starken Einfluss auf die Richtung des Elektronen- bzw. Plasmastrahls und auf seine Stromstärke beim Austritt
- 10 aus der Kathodenöffnung.

In der Startphase der Entladung werden nämlich Elektronen von den Rückwänden 7 der Hohlkathode oder der Hohlkathoden emittiert, und zwar jeweils senkrecht zur Wand. Dies führt zur Ausbildung eines Elektronenstrahls, gefolgt von einem Strahl neutralen Plasmas, welcher durch die jeweiligen Öffnungen 3,3',3'' in

- 15 Richtung Anode propagiert. Da die primäre Elektronenemission senkrecht zur Wand der Hohlkathode erfolgt, treten die Ladungsträger dann möglichst vollständig aus den Öffnungen aus, wenn die Längsachse der Öffnungen senkrecht auf der Hohlkathodenrückwand steht.

Die eingangs erwähnten Ausführungsformen haben die Gemeinsamkeit, dass die mindestens zwei Hohlkathodenöffnungen zu einem einzigen und insofern gemeinsamen Hohlkathodenraum führen.

Gemäß Fig. 4a und 4b ist es aber auch möglich, dass jeder Hohlkathodenöffnung 3,3',3'' ein separater Hohlkathodenraum 8,8',8'' zugeordnet ist. Allgemeiner kann insofern unter einer Hohlkathode auch eine Kathode mit mindestens 25 zwei Öffnungen 3,3' mit mindestens einem zugeordneten Hohlkathodenraum 8 verstanden werden.

Separate Hohlkathodenräume sind kleiner als ein gemeinsamer Hohlkathodenraum. Aufgrund der geringeren Größe hat man den Vorteil, dass das Plasma schneller rekombiniert und damit höhere Repetitionsraten möglich sind.

- 30 Ebenfalls vorteilhaft ist eine Ausgestaltung der Erfindung, bei der die Hohlkathode 2 keine Öffnung auf der Symmetriearchse 6 aufweist, siehe hierzu Fig. 5a und Fig. 5b. Bei Vorhandensein einer Öffnung an dieser Stelle lässt sich nämlich

experimentell feststellen, dass der von dieser Öffnung ausgehende Stromfluss häufig den von den anderen Öffnungen 3,3° ausgehenden Stromflüssen deutlich übersteigt. Indem man keine Öffnung an dieser Stelle vorsieht, vermeidet man die Gefahr, dass diese Öffnung einer besonders starken Erosion unterliegt. Mit anderen Worten ist die

5 Verteilung des Gesamtstroms auf die Einzelströme besonders gleichmäßig.

Während Fig. 5a und Fig. 5b Varianten ohne Hohlkathodenöffnung auf der Symmetriearchse 6 darstellen, bei denen diese Öffnungen 3,3° einen einzigen gemeinsamen Hohlraum aufweisen, gelten die obigen Ausführungen sinngemäß ebenfalls, wenn wie in Fig. 4a oder Fig. 4b separate Hohlräume 8,8°,8° vorgesehen

10 sind.

Eine zeichnerisch nicht dargestellte Variante besteht darin, dass eine durchgehende Hohlkathodenöffnung auf der Symmetriearchse gewählt wird, deren Durchmesser kleiner als die Durchmesser der übrigen Hohlkathodenöffnungen ist. In diesem Falle spielt die zentrale Hohlkathodenöffnung, also die Hohlkathodenöffnung

15 auf der (Haupt-) Symmetriearchse der Elektrodenanordnung, für die Zündung des Plasmas keine Rolle. Vorteilhaft bei dieser Variante ist, dass eine Erosion durch Teilchen, welche bei der Kompression des Pinchplasmas in axiale Richtung emittiert werden, vermieden werden kann.

Bei einer anderen Variante kann vorgesehen sein, dass eine oder mehrere

20 Hohlkathodenöffnungen 3,3°,... als Sackloch ausgebildet sind, siehe Fig. 6a und Fig. 6b. Diese Bauform ist besonders einfach herstellbar.

Untersuchungen haben ferner ergeben, dass bei nicht optimierten Betriebsparametern der Schwerpunkt des Plasmas nicht am Punkts S, sondern häufig in Richtung Kathode verschoben ist. Speziell mit einem Sackloch 3° auf der

25 Symmetriearchse 6, wie in Fig. 6c und Fig. 6d dargestellt, lässt sich der Abstand des Plasmas von der Kathodenwand vergrößern, insbesondere wenn der Durchmesser des Sacklochs größer ist als der Durchmesser der weiteren Hohlkathodenöffnungen 3 bzw. 3°. Der vergrößerte Abstand des Plasmas von der Kathodenwand führt zu einer weiteren Minderung der Kathodenerosion.

30 Weiterhin ist für den Fall eines Sacklochs auf der Hauptsymmetriearchse 6 die Anordnung toleranter gegenüber Erosion im Öffnungsbereich. Eventuelle Abrundungen bzw. vorhandener Abtrag der Kathode an der Kante der Öffnung spielen

für den Fall eines Sacklochs für den Stromtransport und damit für das Pinchplasma eine nicht so große Rolle wie in einer Geometrie mit einer durchgehenden Öffnung. Im letztgenannten Fall wird die Geometrie des Pinchplasmas wesentlich durch den Stromansatz und dessen zeitliche Entwicklung in der Öffnung bestimmt, wobei sich 5 erfahrungsgemäß die erodierte Kante auf die Pinchgeometrie negativ auswirkt. Das Pinchplasma wird länger und führt dazu, dass weniger Strahlung ausgekoppelt werden kann. Insofern führt das Sackloch dazu, dass trotz auftretender Erosion das Plasma bzgl. Lage und Geometrie unverändert bleibt.

Die Anode 1 enthält eine durchgehende zentrale Hauptöffnung 4 auf der 10 Symmetriearchse 6. Die Anode 1 kann neben der durchgehenden zentralen Hauptöffnung 4 mindestens zwei weitere Öffnungen 4‘,4“ aufweisen. Die Längsachsen 9‘ bzw. 9“ dieser zusätzlichen Anodenöffnungen 4‘ bzw. 4“ sind jeweils identisch mit der Längsachse einer Hohlkathodenöffnung 3‘ bzw. 3“, siehe hierzu Fig. 7. Insofern gibt es zu jeder zusätzlichen Anodenöffnung 4‘,4“ eine gegenüberliegende, nicht auf der 15 Symmetriearchse befindliche Hohlkathodenöffnung 3‘,3“. In diesem Fall gibt es überlappende Plasmakanäle am Ort S, und die weiteren Anodenöffnungen 4‘,4“ definieren weitgehend das über den Pincheffekt zu komprimierende Plasmavolumen. Da die zusätzlichen Anodenöffnungen 4‘,4“ einen kleineren Durchmesser aufweisen als die zentrale Anodenöffnung 4 auf der Symmetriearchse 6, wird das zu 20 komprimierende Plasmavolumen insgesamt kleiner ausfallen. Das Plasma wird dadurch auf ein noch kleineres Volumen komprimiert. Dies hat den Vorteil, dass ein noch höherer Anteil der erzeugten EUV-Strahlung entlang der Symmetriearchse 6 ausgekoppelt und für die Applikation nutzbar gemacht werden kann. Da man dadurch zur Erlangung einer vorgegebenen EUV-Ausgangsleistung geringere Pulsennergien 25 benötigt, lässt sich die Erosion des Kathodenmaterials weiter einschränken.

Die zusätzlichen Anodenöffnungen können unterschiedlich ausgestaltet sein. Von S aus betrachtet befindet sich hinter der Anodenöffnung 4‘,4“ in Fig. 7 ein offener Raumbereich, in Fig. 8a ist dieser Raumbereich geschlossen. Die geschlossene Ausführung hat zur Folge, dass das Plasma durch Vorgänge im besagten Raumbereich 30 nicht gestört werden kann, und die Plasmaemission besonders störungsfrei erfolgt. Baulich besonders einfach ist hierbei die Variante gem. Fig. 8b, dass der geschlossene Raumbereich aus einer als Sackloch ausgebildeten Anodenöffnung 4‘,4“ besteht.

Unabhängig vom Vorhandensein und der Ausgestaltung der zusätzlichen Anodenöffnungen 4‘,4“ kann die Hauptöffnung 4 auch als Gitter, dessen offene Bereiche streifenförmig oder schachbrettartig sind, ausgeführt sein. Das Gitter wirkt in diesem Fall während der Zündungsphase des Plasmas als elektrische Abschirmung.

5 Diese Ausgestaltung der zentralen Hauptöffnung der Anode ist vor allem bei Vorhandensein von zusätzlichen Anodenöffnungen von Vorteil. Dann wird nämlich der Zündprozess noch dominanter durch die zusätzlichen Anodenöffnungen 4‘,4“ bestimmt und damit das zu komprimierende Plasmavolumen insgesamt noch kleiner ausfallen.

In einer weiteren vorteilhaften Ausführung der Erfindung sind für den 10 oder die Hohlkathodenräume Triggervorrichtungen vorgesehen. Auf diese Weise lässt sich die Zündung der Entladung präzise nach Bedarf auslösen. Insbesondere lässt sich auch die Gleichzeitigkeit der Zündung der Teilentladungen verbessern.

Als Triggervorrichtung kann gemäß Fig. 9a und Fig. 9b eine Zusatzelektrode 10 im Hohlraum 8 vorgesehen sein. Diese Zusatzelektrode 10 kann, 15 indem sie durch eine Triggerelektronik auf positivem Potential gegenüber der Kathode 2 gehalten wird, die Entzündung der Entladung verhindern. Wird die Triggerelektrode durch einen Steuerimpuls an die Triggerelektronik auf Kathodenpotential geschaltet, erfolgt eine präzise steuerbare Zündung der Entladung. Analoges gilt für den Fall, dass ein dielektrischer Trigger eingesetzt wird.

20 Gemäß Fig. 10a kann eine gepulste Hochfrequenzquelle 10, 10‘, 10“ als Triggervorrichtung vorgesehen sein, und zum Beispiel eine Mikrowellenquelle zur Auslösung der Entladung verwendet werden. Die Hochfrequenz wird durch die Öffnung in Richtung der strichpunktuierten Achsen in den oder die Hohlkathodenräume 8, 8‘, 8“ eingekoppelt, und löst dort den Aufbau des Hohlkathodenplasmas, und schließlich die 25 Hauptentladung aus.

Zur Triggerung können auch gemäß Fig. 10b Glimmentladungseinheiten vorgesehen sein. Innerhalb dieser Einheiten wird vor der eigentlichen Hauptentladung eine Glimmentladung aufrecht erhalten. Aus dem Glimm plasma werden dann durch Anlegen einer positiven Spannungspulses an die der Hohlkathode 2 zugewandte 30 Gitterelektrode Elektronen extrahiert, die die Hauptentladung im Hohlkathodenraum 8,8‘,8“ und im Raum zwischen Anode und Kathode, also im Elektrodenzwischenraum, initiieren.

Gemäß Fig. 10c und Fig. 10d kann zum Triggern auf die jeweiligen Hohlkathodenöffnungen fokussierte Laserstrahlen 15, 15', 15'' einer gepulst betriebenen Laserstrahlquelle zur Auslösung von Primärelektronen aus der Kathodeoberfläche und zur Zündung der Entladung verwendet werden. Es können eine oder mehrere fokussierte

5 Laserstrahlen sowohl von der Anodenseite, siehe Fig. 10d, als auch durch Öffnungen von der Kathodenseite, siehe Fig. 10c, eingestrahlt werden.

Fig. 11 zeigt eine Doppelplasma-Anordnung mit einer Hilfsanode 17. Hilfsanode und Anode 1 werden über Leitungen 19 elektrisch miteinander verbunden. Während der Zündungsphase der Entladung baut sich in den Hohlkathodenräumen

10 8,8',8'' ein Plasma auf, von dem aus ein Elektronenstrahl in Richtung der Anode 1 und auch in Richtung Hilfsanode 17 propagiert. Im späteren Verlauf entsteht im Raum 18,18',18'' zwischen den Öffnungen 16,16',16'' und Hilfsanode 17 ein Plasma, das seinerseits ein Ionenstrahl in Richtung Hohlkathode 2 emittiert. Der Ionenstrahl durchquert den Hohlkathodenraum 8,8',8'' und tritt durch die Öffnungen 3,3',3'' in den

15 Elektrodenzwischenraum ein. Hier wird längs des Ionenstrahls eine nochmals lokal verstärkte Ionisation des Hauptplasmas zwischen Anode 1 und Kathode 2 bewirkt. Damit wird die räumliche Ausdehnung des EUV-Strahlung emittierenden Plasmavolumens nochmals verringert. Dies erlaubt eine bessere Auskopplung der bereitgestellten EUV-Strahlung.

20 Aus den vorstehenden Ausführungen ergibt sich, dass die verschiedenen Ausführungsformen von Kathode, Anode(n), jeweiligen Öffnungen sowie zugehörigen Triggervorrichtungen auch beliebig kombiniert werden können.

Bezugszeichenliste

1 Anode

2 Hohlkathode

5 3,3',3'' Hohlkathodenöffnung

4 Anodenöffnung, durchgehend

5,5',5'' Längsachse einer Hohlkathodenöffnung

6 Symmetrieachse, definiert durch die durchgehende Anodenöffnung

10 7 Hohlkathodenrückwand

8,8',8'' Hohlkathodenraum

9 Längsachse einer zusätzlichen Anodenöffnung

10 Triggervorrichtung

11 Räumlich ausgedehnter Strahl aus Elektronen

15 und Ionen

12 Überlappungsbereich der Elektronenstrahlen

13 Plasma

14 Pinchplasma

15,15',15'' Laserstrahlen

20 16,16',16'' Öffnungen der Hohlkathode, welcher der Hilfsanode zugewandt sind

17 Hilfsanode

18,18',18'' Zwischenraum zwischen Hohlkathode 2 und Hilfsanode 17

19 elektrische Leitungen, welche Anode 1 und Hilfsanode 17 miteinander
5 verbinden

PATENTANSPRÜCHE:

5 1. Gasentladungslampe für EUV-Strahlung, mit einer Anode (1) und einer Hohlkathode (2), bei der die Hohlkathode (2) mindestens zwei Öffnungen (3,3') und die Anode (1) eine durchgehende Öffnung (4) aufweist, dadurch gekennzeichnet, dass die Längsachsen (5,5') der Hohlkathodenöffnungen (3) einen gemeinsamen Schnittpunkt S haben der auf der Symmetriearchse (6) der Anodenöffnung (4) liegt.

10 2. Gasentladungslampe nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die Längsachse (5) der jeweiligen Hohlkathodenöffnung (3) weitgehend senkrecht auf dem der Hohlkathodenöffnung (3) gegenüberliegenden Teil der Hohlkathodenwand (7) steht.

15 3. Gasentladungslampe nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, dass jeder Hohlkathodenöffnung (3) ein separater Hohlkathodenraum (8) zugeordnet ist.

4. Gasentladungslampe nach einem der Ansprüche 1 bis 3, dadurch gekennzeichnet, dass eine Hohlkathodenöffnung als Sackloch ausgebildet ist.

20 5. Gasentladungslampe nach Anspruch 4, dadurch gekennzeichnet, dass die auf der Symmetriearchse (6) befindliche Hohlkathodenöffnung (3) als Sackloch ausgebildet ist.

25 6. Gasentladungslampe nach einem der Ansprüche 1 bis 3, dadurch gekennzeichnet, dass die Hohlkathode (2) keine Öffnung (3) auf der Symmetriearchse (6) der Anodenöffnung (4) aufweist

7. Gasentladungslampe nach einem der Ansprüche 1 bis 4, dadurch gekennzeichnet, dass die Hohlkathode (2) eine durchgehende Öffnung auf der

30

5 Symmetrieachse (6) der Anodenöffnung (4) aufweist, deren Durchmesser kleiner ist als der Durchmesser der übrigen Hohlkathodenöffnungen.

8. Gasentladungslampe nach einem der Ansprüche 1 bis 7, dadurch gekennzeichnet, dass die Anode (1) zusätzliche Öffnungen (4', 4'') aufweist, 10 deren Längsachsen (9', 9'') jeweils identisch mit der Längsachse einer Hohlkathodenöffnung ist.

9. Gasentladungslampe nach Anspruch 8, dadurch gekennzeichnet, dass vom Schnittpunkt S aus betrachtet der Raumbereich hinter der zusätzlichen 15 Anodenöffnung (4', 4'') geschlossen ist.

10. Gasentladungslampe nach einem der Ansprüche 8 oder 9, dadurch gekennzeichnet, dass eine zusätzlichen Anodenöffnung (4', 4'') als Sackloch ausgebildet ist.

20 11. Gasentladungslampe nach einem der Ansprüche 8,9 oder 10, dadurch gekennzeichnet, dass die zentrale durchgehende Anodenöffnung 4 als Gitter, dessen offene Bereiche streifenförmig oder schachbrettartig sind, ausgeführt ist.

25 12. Gasentladungslampe nach einem der Ansprüche 1 bis 11, dadurch gekennzeichnet, dass für den oder die Hohlkathodenräume (8) Triggervorrichtungen (10) vorgesehen sind, vorzugsweise eine Zusatzelektrode, ein dielektrischer Trigger, eine gepulste Hochfrequenzquelle, eine oder mehrere Glimmentladungseinheiten, oder eine gepulste Laserstrahlquelle.

30 13. Gasentladungslampe nach einem der Ansprüche 1 bis 12, dadurch gekennzeichnet, dass als Triggervorrichtung eine Doppelplasmaanordnung mit einer Hilfsanode (17) vorgesehen ist.